

理科の考え方を働かせる理科授業の提案

ーフローチャート表現を活用してー

中谷 和弘

千葉大学教育学部委託研究生

児童がフローチャートを活用し、プログラミング的思考の要素の1つである条件分岐を身に付けることで、理科の考え方を働かせて問題解決に取り組めるか検証した。予備実践の課題から、フローチャート表現の条件分岐の使い方に焦点を定め、結果や条件制御が2択に分かれる観察や実験での活用を想定し、全学年のフローチャートの例を作成した。本実践では、第5学年の「もののとけ方」において、食塩とミョウバンの水溶液を判別する方法を考えさせる活動を実施し、児童が条件制御の考え方を働かせながら判別方法を導き出し、フローチャート上の条件分岐を適切に扱えることが明らかになった。児童はフローチャートを作成することを難しいと感じる一方で、考え整理するには分かりやすい手段であると捉えており、筋道立てて自然の事物・現象について考える一手段として今後も検討する必要がある。

キーワード：フローチャート、プログラミング的思考、条件分岐、理科の考え方

1. はじめに

令和年度から平成29年告示の小学校学習指導要領が施行され、プログラミング教育が実施されることになった。小学校におけるプログラミング教育のねらいは、文部科学省（2020）では、①「プログラミング的思考」を育むこと、②プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータ等の情報技術によって支えられていることなどに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、よりよい社会を築いたりしようとする態度を育むこと、③各教科等の内容を指導する中で実施する場合には、各教科等での学びをより確実なものとする¹と示されている。したがって、プログラミング教育を導入する意図はプログラマーの育成ではない。この内容に関連して学習指導要領では、理科の第6学年「電気の利用」でエネルギー資源の有効利用を考える学習が例示されている。また、先行で実践されている内容として、第6学年の「水溶液の性質」の水溶液の判別のフローチャート作成や、第5学年の「流れる水のはたらき」の被害から身を守るための工夫を考える事例等があるが、各学校や指導者の裁量に任されている部分が多い。教科書に記載されている内容は、限られた学年や単元であり、指導機会の少なさや問題解決の場面設定の難しさ、教材の十分な確保など、実施する上での課題は多い。

また、平成31年度（令和元年度）全国学力・学習状況調査の算数の解答分析によると、所属校の児童で論理的思考を要する問題の減点・誤回答があった者は、全体6割であり、そのうち約8割が説明不足によるものだということが分かった。この結果を踏まえて行った2019年度の授業実践では、第6学年理科の「水溶液の性質」において、アンブレグドでプログラミング学習を実施した。ICT機器については、通信環境の不安定さやソフトウェアに必要な機能が備わっていないことを検討した結果であったが、児童は5種類の水溶液の判別実験について、実験方法が記載されたカードを使用して、実験計画のフローチャートを作成した。カードを取捨選択し、順序を考える活動により、児童が試行錯誤しながらプログラミングを支える要素である順次や条件分岐を意識して考えを可視化することで、全員が自分の考えを表現することができ、それらを共有しやすくなるが見て取れた。ICT機器を用いないことで、自分の組んだプログラムが正常に機能を果たすか即時に判断できないデメリットはあるが、環境に左右されず、児童の機器の習熟に関係なく考える機会を設定することができた。また、児童全員が自分の考えが持つことができたことから、問題解決のために比較する、条件を制御する、多面的に考えるという、理科の考え方を働かせる要因について、他の学年や区分、単元での検証を行っていきたいと考えた。

本研究では、児童がプログラミング的思考を構成する要素を身に付けるために、フローチャートを活用した理科の授業を検討する。児童が目的と見通しをもって観察、実験など科学的な探究や問題解決を行う中で、フロー

Kazuhiro NAKAYA : Proposal of Science Classes to Make the Ways of Thinking of "Rika" : Utilizing Flowchart Representation
A Research Student Committed by Faculty of Education, Chiba University

ャートによって考えを可視化することにより、児童が理科の考え方を働かせ、論理的思考力を身に付けることの有効性や各学年の授業での活用法について考察し、課題を示す。

2. プログラミング教育と理科の関係性

2.1. プログラミング的思考について

コンピューショナル・シンキング (CT) は問題解決のプロセスを分解するものとしてシーモア・パパートが用いた用語であり、Wing (2006) ² で広く知られるようになった。CT は問題をコンピュータ科学者のように考える方法であり、計算論的思考とも呼ばれ、前出のプログラミング的思考は CT を基に、プログラミングと論理的思考の関係を整理した日本独自の言葉である。文部科学省はプログラミング的思考を次のように定義している。

自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのかと、といったことを論理的に考えていく力 ³

他方で、この定義はプログラミング的思考が具体的にはどのような思考を指すものなのかは明言されていない。大森ら (2017) は、プログラミング学習に求められるものを表 1 のように示しており、これに結び付く体験の必要性を述べている。

表 2 小学校段階におけるプログラミング学習に求められる知識・技能・能力 ⁴

抽象化	不要な部分を分離してわかりやすくする
パターンの認識	類似性とパターンの発見する
分解	問題をより小さな小単位に分けていく手順
一般化	規則化・定型化

また、藤原伸彦らは「小さな試行錯誤を積み重ねてすすめていくということこそ、プログラミング的思考として児童生徒に身につけて欲しいものの核である。」⁵と述べており、プログラミングには論理的思考に加えて試行錯誤することが必要であると指摘している。Mitchel Resnick が代表を務めたライフロングキンダーガーテンが考えた創造的な学びのスパイラル (表 2) の要素の 1 つである遊びについて、Resnick (2017) は「子供たちが、常に自分の作品をいじくり回したり実験したりし

ています。」⁶と述べている。ここで園児が試みる遊びは学習活動での試行錯誤と同義であり、遊びによって新たな気づきや発想が生まれ、学びに繋がることが分かる。こうしたことを踏まえて、本研究では、論理的な考えだけではなく、試行錯誤され生まれた多様な考えも尊重して扱っていく。

表 1 創造的な学びのスパイラルとプログラミングの関連性

	学びのスパイラル	プログラミング
①	発想 Imagine	目標設定
②	創作 Create	組合せ (順次・条件分岐・繰り返し)
③	遊び Play	試行錯誤
④	共有 Share	対話
⑤	振り返り Reflect	抽象化
⑥	(新たな) 発想	一般化・目標設定

2.2. プログラミングと理科の関連について

プログラミング教育で使用が水晶されているものの 1 つに Scratch がある。設計者であるミッチェル。レズニックは、Scratch が開発された目的は、教育を「講義型」から、周りの世界と交流ができる「対話型」へと移行することと述べている。佐伯 (1997) は、「ソフトが支援する学習者像には大きく分けて、『観客 (audience) 型』と『演出者 (producer) 型』がある。」⁷と述べている。Scratch は学習者が課題意識を持って作品を作り出す点において演出者型であるといえる。Scratch 以前に開発された LOGO もコーディングし、幾何学的な模様を表現できる学習用プログラミング言語であり、Scratch 同様に演出者型といえる。

表 3 プログラミングソフトと観察・実験の比較

	LOGO	Scratch	理科実験
対象	タートル (亀)	スクラッチ キャット (猫)	学習者
目標	表現したい模様	作成したいもの	学習問題
方法	テキスト プログラミング ⁸	ビジュアル プログラミング ⁹	手順の検討 観察・実験 考察

Scratch や LOGO は、試行錯誤を繰り返していくことで目標達成に近づく点やそれぞれ猫や亀等を作成者が命令を出す対象が存在している点が共通している (表 3)。試行錯誤と対象が存在するということが、児童がプログラミングソフトに主体的に取り組む 1 つの要因だといえる。

ここで理科の学習において、問題解決のために観察・実験を行う活動について、試行錯誤していく点においてプログラミングと関連があると捉え、プログラミング的思考を取り入れた教材作成を検討することとした。

2.3. フローチャートと理科の考え方について

小林（2019）は「プログラミングの考え方（順序・繰り返し・条件分岐）を視覚化することで、対話しやすくなったり、試行錯誤しやすくなったり、間違い（問題）を発見しやすくなったりして、学習者主体の学習を行いやすくなることが指摘できます。」¹⁰と述べ、論理的思考を視覚化させる際に適切なツールはフローチャートであると述べている。フローチャートの利点は簡易な図形で表現することができ、矢印で手順を表現することで、プログラミング的思考の要素の1つである順次と結び付けやすい。

また、プログラミング的思考の要素の1つである条件分岐は、フローチャート上では矢印が2本に分かれて進行していくことから、児童が比較したり、異なる条件下での結果を検証したりする観察・実験において活用しやすいと捉えた。理科の考え方では、第3学年以上には比較の考え方を、第5学年以上では条件制御の考え方を働かせることが求められている。各学年の観察・実験において、従来のワークシートではなく、フローチャート上で活動の内容を可視化し考えを整理して考察を行う機会を増やすことで、児童の論理的思考力の向上を図る。

3. フローチャートを活用した教材開発

3.1. 教材作成

児童がどの程度フローチャートに対応できるのか予備実践をすることとした。多くの児童がプログラミングやフローチャートに慣れていないことを想定し、簡略化したフローチャート（以後、フローチャート表現と称す）の使用を考えた（図1）。使用時の留意点は、児童にとって活動の目標が明らかであること、活動の流れが目で見えやすいこと、分岐表現で児童がいくつかの候補の中から選択する機会があることの3点である。これらを踏まえ、児童に自身が対象（主体）となることを意識させ、観察や実験の場面ごとのワークシートを作成した。

3.2. 予備実践

(1) 単元の選定

実践校では第3学年からコンピュータを活用した学習が本格的になるため、コンピュータにも慣れておらず、プログラミング的思考を身に付いていない児童が多い

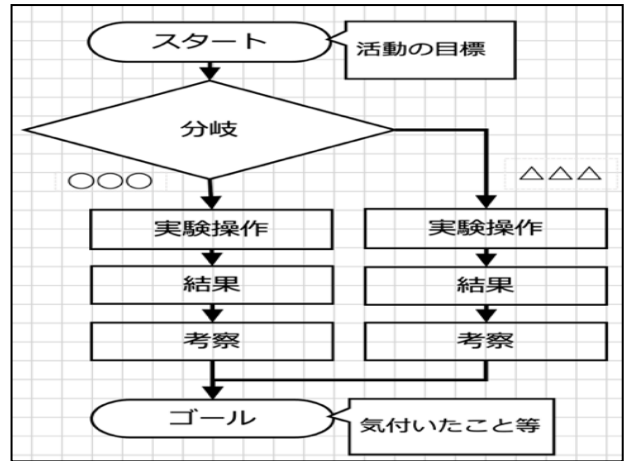


図1 予備実践時のフローチャートの略図

ことが想定された。また、学習内容の区分をA物質・エネルギーとB生命・地球にすることで偏りを避けた。それらの区分の中で、比較する考え方を要する活動が複数設定されえた「音のふしぎ」と「雨水のゆくえ」の単元の実施を選択した。

(2) 単元の流れと児童の様子

〈第3学年「音のふしぎ」（6時間扱い）〉

単元を通して指導者が実験前の説明時に拡大したフローチャートを提示して活動の流れを説明した。児童は音を出すものや音量を選択し、比較しながら音が出ている時や音が伝わる時のものの様子を記録し考察した。

〈第4学年「雨水のゆくえ」（10時間扱い）〉

観察・実験の前に指導者がフローチャートを掲示して活動の流れを説明した。結果から考察を導くことが難しい児童もいたが、周りの意見に耳を傾け、考えを整理してまとめていた。

(3) 予備実践の成果

成果として二点を挙げる。一点目は、児童にとって初めてフローチャート表現を扱う機会であったが、学習活動を可視化することや、表現の仕方に慣れていく様子が伺えたことである。

二点目は、文章や考えを書く活動が苦手な傾向があった児童が、結果や観察で積極的に記述していく様子が見られたことである。従来のワークシートよりもフローチャートの方が記述する内容が明確であったことが要因である。

(4) 予備実践の課題

指導者がフローチャート表現の条件分岐について、ワークシート上で使用する実験道具の選択時にも使用し、比較する考えかを働かせる機会にならない場合があったことである。児童が理科の考え方を働かせられるような条件分岐の扱い方を検討する必要がある。

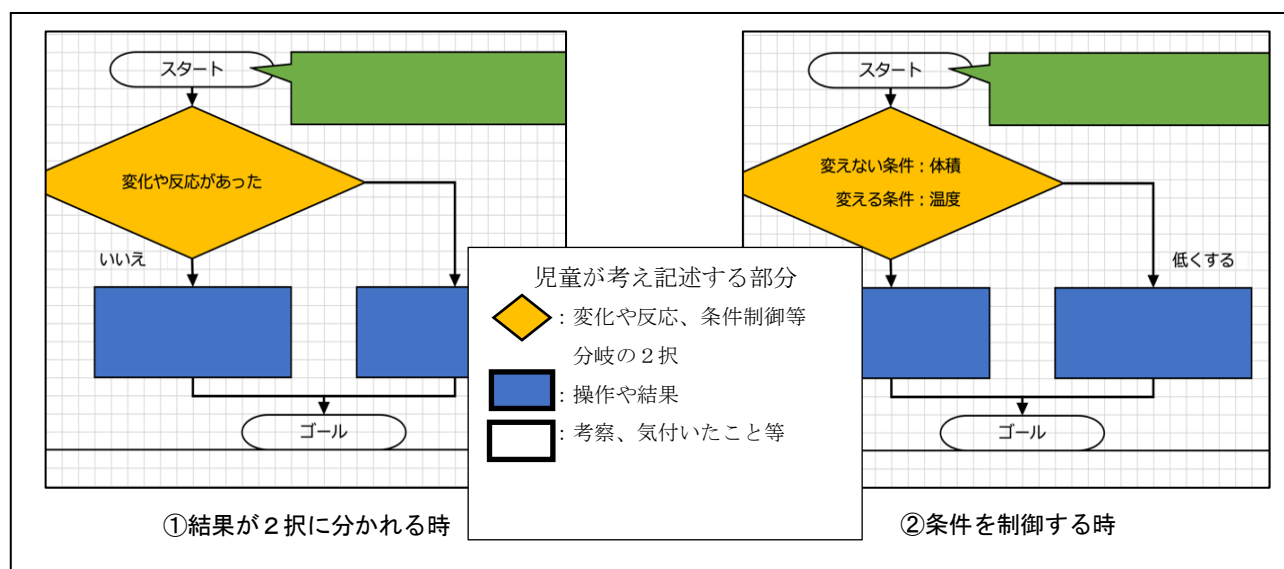


図2 フローチャート表現の教材作成時の考慮すべき点

3.3. 教材の再検討

予備実践での課題から、条件分岐の使い方が定まらなかった点を改善するため、①結果が2択に分かれる時 ②実験方法が選択される時の2パターンで使用することで、理科の考え方を働かせやすい表現になると考えた(図2)。

①の場合、第3学年以上に求められる比較する考え方を扱い、異なる2つのものを比べたり、1つのものの時間的な前後関係を捉えたりすることができる。また、虫やものの分類、水溶液の判別等での活用を想定した。

②の場合、第5学年以上に求められる条件制御の考え方を扱い、結果から考察を考える活動に焦点の定めやすくなるように検討した。

3.4 本実践の教材の検討

予備実践では穴埋め式のフローチャート表現だったが、再検討したものは児童自身で作成することを想定した。実際にフローチャートが作成できるか、理科の考え方を働かせることができるか検証するため、第5学年の2学期の既習単元である「物の溶け方」の教材について検討した。本単元は、4回の実験の内、3回を食塩とミョウバンについて扱っているため、比較することが意識しやすい。また、温度や水の体積を変えることで溶質の溶ける量が変化するので、条件制御の考え方も働かせやすい。条件分岐の表現に適切な判別を選択できているかによって、条件制御の考え方が働いていたとみることにした。これらを基に、本単元の発展問題として、児童には以下の問題に取り組ませることとした。

「白いとけ残りのある水よう液A、Bがあり、食塩かミョウバンのどちらかがとけています。ロボットが食塩かミョウバンかを見分ける方法(プログラム)を考えましょう。

無色透明な2種類の水溶液を想定するが、溶け残りがあることで、そのまま温度を変化させるのか、溶媒(水)を足すのか、溶け残りを取り出すか等、選択肢を増やすことで、柔軟な発想が生まれることを促す。水溶液の体積や溶け残りの量は記載せず、実験用具や操作はこれまでの授業に準ずる形とし口頭で説明することとした。

4. 授業の実践と考察

4.1. 授業実施の概要

対象 N小学校第5学年28名

授業者 中谷和弘(執筆)

期日 2020年12月23日

単元名 「もののとけ方」(12/12時間目)

【本時の目標】

○2種の水溶液の溶解度の違いを利用した判別方法を考えることができる。

本単元の内容の1つである「(ウ)物が水に溶ける量は水の温度や量、溶ける物によって違うこと。また、この性質を利用して、溶けているものを取り出すことができること。」¹¹⁾の理解に迫り、これまで行った実験等を想起させながら水溶液の判別方法を論理的に考えさせていくこととした。

4.2. 授業の実践と考察

授業冒頭では、指導者がメダカの雌雄の見分け方について、卵の有無、背びれの切れ込みの有無、尻びれの形状を用いたフローチャートの説明を10分程度行った。条件分岐の枠内には1つずつ実験操作や比較する内容を入れることと、矢印の横には対応する2択の結果等を

記入することを確認した。児童らは教科書やノートを参考にしながら、各々の図を作成していった。作成後は数人の児童と考えを共有する時間を設け、最後に全体の内容を確認した。

児童らが作成したフローチャートが条件分岐を適切に用いて理科の考え方を働かせ、2種の水溶液を判別する手順を考えられていたか分析した（表3）。

表4 児童が作成したフローチャートの分類（28人）

分類	水溶液が判別できる	水溶液が判別できない
条件分岐が適切	①16人 57.1%	③6人 21.4%
条件分岐が不適切	②3人 10.7%	④3人 10.7%

28人中16人は、条件分岐の数こそ異なるが、変える条件を設定することと食塩とミョウバンの溶解度の違いを正確に捉え、判別方法を最後までかくことができていた（図3）。

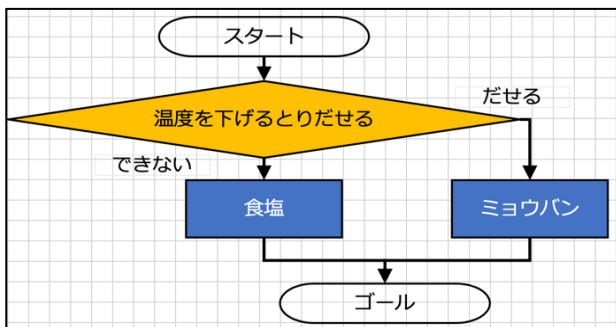


図3 ①の児童のフローチャート

②の3人は、判別方法が記述できているが、条件分岐の図形から正しく矢印が分かれていない表現になっていた（図4）。

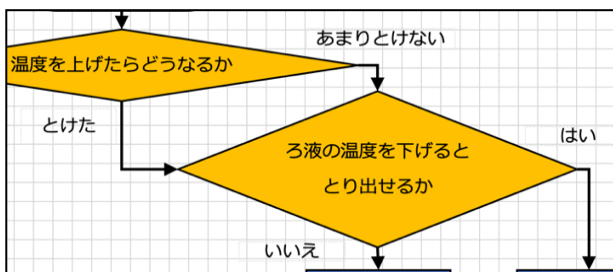


図4 ②の児童のフローチャート

③の6人は、条件分岐を適切に用いているが、食塩とミョウバンの特徴を逆に捉えていたり、ろ過する操作自

体を判別するため分岐としていたり判別方法に誤りが見られた。他方で、③の児童が作成したフローチャートは、実験操作全てに誤りがあるのではなく、判別できる実験操作も含まれているものもあった。

④の3人は作成途中になっているものや水溶液の色、透明度を判別の条件としているものであった（図5）。

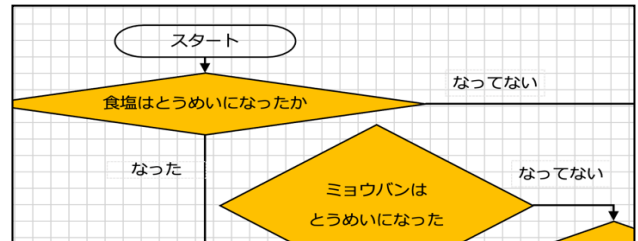


図5 ④の児童のフローチャート

①②③の児童は、食塩とミョウバンの特徴を比較したり、変える条件を1つとした実験操作を考えたりすることができており、個人による差はあるが、理科の考え方を働かせていたといえる。今回の検証授業では、フローチャートの説明に多くの時間を割くことができなかったが、学級の約78%の①と③の児童は条件分岐を適切に用いることができたので、フローチャート表現を理科で扱うことに大きな障害はない。しかし②と④の児童に正しいフローチャートのかき方を伝えるためには、理解させるための手立てが必要であるといえる。また、児童がフローチャートの修正や改良する時間を確保できなかったのも、考えを共有する機会を確実に設ける必要がある。

授業後のアンケートでは、「フローチャートをかくのが簡単か。」の問いに対して、難しい、やや難しいと回答した児童が全体の47.5%であった。しかし、「フローチャートは他の考えのまとめ方に比べて分かりやすいか。」の問いについては、分かりにくい、やや分かりにくいと回答した児童はいなかった。児童らは慣れないフローチャート表現に戸惑いながらも、手順を考えたり判別したりする方法としては肯定的に受け止めているといえる。自由記述欄には、「他の課題でも使ってみよう。」や「文章で答えるよりも分かりやすかった。」といった感想等が見られた。

4.3. 本授業の成果と課題

成果として二点を挙げる。一点目は、児童が、ある程度の説明を聞き、プログラミング的思考の条件分岐の考え方を理解してフローチャート表現をかくことができたことである。

二点目は、ほとんどの児童がフローチャート表現で考えを可視化することができ、学級の半数以上の児童が比

較や条件制御の考え方を働かせて水溶液の判別方法を導き出すことができたことである。判別方法を導き出せなかった 9 人の内、6 人はフローチャート表現に一部間違いがあつが、判別方法としては適切な部分もあったことから、条件分岐の考え方がある程度働いていたといえる。

課題として三点を挙げる。一点目は、45分の授業時間の中で短く的確なフローチャートの作成の仕や条件分岐の考え方を理解させる手立てが求められることである。

二点目は、考えを共有する時間を確実に設定することである。

三点目は、同一単元内や年間を通じて複数回実施し、説明に要する時間を短縮することや、フローチャートを作成する経験を積ませることが必要である。

5. フローチャートを活用した授業の考察

5.1 中学年

第 3 学年では、チョウの体のつくりを基に他の虫と比較したり、電気を通すものや磁石に引きつけられるものの分類を考えたりする活動が考えられる(図 6)。第 4 学年では、電池のはたらきやとじこめた空気と水、雨水のゆくえの単元で、比較して考える活動について、フローチャート表現を活用可能である。

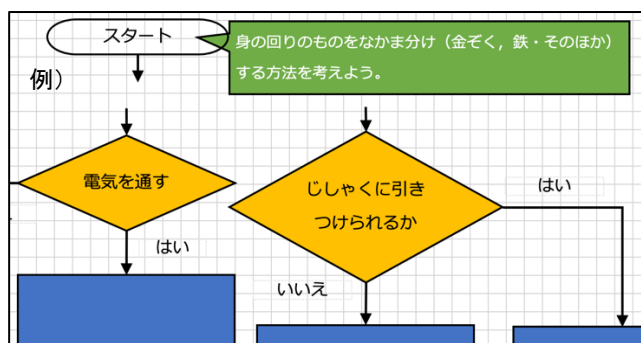


図 6 身の回りのものの仲間分け 使用例

中学年では、まだ自力でフローチャートをかくことが難しい児童も多いことが想定される。よって、指導者が実験のまとめの際に使用したり、グループ毎に取り組みさせて協力して 1 つのフローチャートを完成させたりすることで、プログラミング的思考の基礎を身に付け、比較の考え方を働かせる土台を築くことをねらいとすることができる。また、前述の図 6 のように、単元のまとめとしての発展問題として活用する方法も考えられる。

一方、教材検討をしていく中で、第 4 学年で求められる関係付ける考え方は、児童の生活経験や既習事項を

想起することであるため、単元の導入や考察する場面では取り入れやすいが、プログラミング的思考の要素と結び付けにくいことが分かった。フローチャート表現の中に組み込む場合、児童が記述できるようにワークシート内にスペースを確保する等の工夫が必要になる。

5.2 高学年

第 5 学年では、植物の発芽と成長やふりこの動き、電磁石の性質等について、比較するため条件を選択し、変える条件を 1 つに限定することで論理的に考えていく活動を設定することができる(図 7)。児童には、目的に応じて変える条件と変えない条件に注意して条件分岐を考えさせ、考察に繋げることを意識させていく。

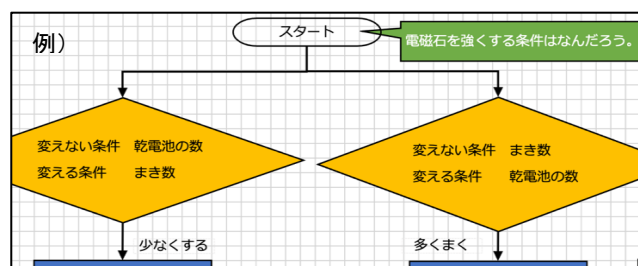


図 7 電磁石の性質 使用例

第 6 学年では、ほぼ全ての単元でフローチャート表現を取り入れることができる。図 8 の水溶液の判別のように、複数の結果からの考察や考えの共有・整理、実験方法の再検討等をするためのフローチャート表現による考えの可視化は適しているといえる。

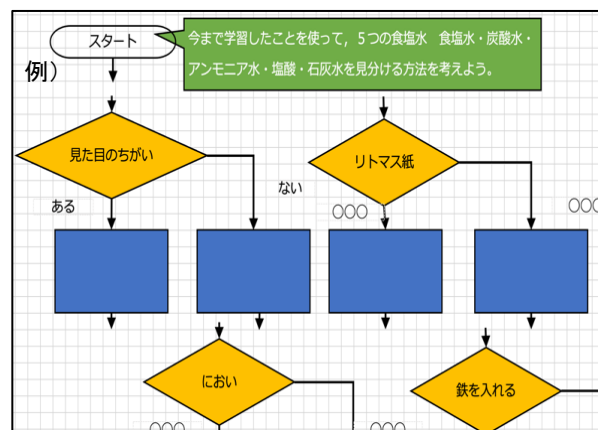


図 8 水溶液の判別 使用例

高学年では、比較する考え方に加え、条件制御と多面的な考え方を働かせ、可視化した考えを共有する活動を行うことで、児童が自分の考えを論理的に検討する機会を設定することができる。また、理解を深めるために、

単元のまとめとして発展問題を設定したり、日々の学習活動の中でフローチャートにより考えを可視化して共有する活動を増やしたりすることで、理科の考え方を働かせるということの定着を図っていく。

6. 研究の成果と課題

6.1. 成果

成果として二点を挙げる。一点目は、フローチャート表現を理科の学習に活用し、条件分岐を適切に用いることで、理科の考えを働かせる学習活動に結び付けられたことである。

二点目は、理科の考え方を働かせるためのフローチャート表現の活用案を、中高学年の全単元を通じて 40 案検討できたことである。学年によって案数に差はあるものの、指導者の活用や発問の工夫によりどの学年でも実施可能性があることが分かった。

6.2. 課題

課題として三点挙げる。

一点目は、検証する学年と単元を拡大し、それぞれの学年に適したフローチャート表現の活用法の検討を続けていくことである。

二点目は、理科の考え方だけではなく、理科の見方を働かせることへの影響について検討することである。

三点目は、感染症予防の為、児童の可視化した考えを共有する機会を確保できなかったことである。来年度から 1 人 1 台のタブレットが配付され全面的に活用予定のため、それを活用した考えの共有方法を模索していく必要がある。

教育現場では、今後もプログラミング教育の実践が増えてくることが予測される。ICT 機器の操作やプログラミングの基礎の学ぶ機会等、カリキュラム・マネジメントを行い、計画的に指導する環境を整えていくことに努めていきたい。

を育むー“フローチャート”でプログラミング的思考を可視化ー」（スカイ株式会社 ICT を活用した学習活動をサポート 学校と ICT）

佐伯胖（1997）『新・コンピュータと教育』岩波新書
藤原伸彦・阪東哲也・曽根直人・長野仁志・山田哲也・伊藤陽介（2019）「ティンカリングとしてのプログラミング」

鳴門教育大学情報教育ジャーナル、No.16、pp.21-16

文部科学省（2016）「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ）」

文部科学省（2018）「小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説理科編」、東洋館出版社

文部科学省（2020）「小学校プログラミング教育の手引き（第三版）」

Resnick,M. (2017) Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play（ミッチェル・レズニック、酒匂寛訳『ライフロング・キンダーガーテン 創造的思考力を育む 4 つの原則』日経BP社、2018）

Wing, J. M. (2006) "Computational Thinking" Communications of the ACM, Vol.49, No.3, pp33-35

謝辞

研究に関してご指導いただきました、千葉大学教育学部藤川大祐先生をはじめ、検証授業で協力していただいた所属校の職員の皆様に心から感謝申し上げます。

¹ 文部科学省（2020）、p.11

² Wing（2006）

³ 有識者会議（2016）

⁴ 大森ら（2017）

⁵ 藤原ら（2019）、p.24

⁶ ミッチェル・レズニックら（2018）、p.35

⁷ 佐伯（1997）、p.124⁸ 文字、記号、数字のみでプログラムを組むこと

⁹ 文字や記号の代わりにオブジェクトでプログラムを組むこと

¹⁰ 小林（2019）

¹¹ 文部科学省（2018）、p.63

引用文献

小林祐紀（2019）「教科学習の中でプログラミング的思考力